

長期材令コンクリートの調査研究

(5 福井市庁舎旧館)

川 上 英 男*

Investigation of Old Building Concrete (5)

Hideo KAWAKAMI

(Received March 15, 1976)

An Investigation was carried out on the 40 years old concrete of Fukui Municipal Office building. The main results obtained are as follows;

- 1) The depth of alkali-lost in concrete was found to be 4.7~6.6cm in inside columns with plaster cover. These values are much greater than those estimated from the ever presented formula. In the foundations and outside walls with granite plate, however, the alkali-lost depth stayed within 2mm.
- 2) The mean value of compressive strength of concrete core was 148 kg/cm², much lower than the value estimated from Schmidt Hammer's rebound number. Young's modulus was calculated as 1.60~2.06 (10⁵kg/cm²) from the stress-strain relations.
- 3) The mixing proportion of cement, fine and coarse aggregate was evaluated as 1:2.5~3.2:5.1~6.0 in weight from the results of 700°C heating followed by hydrochloric acid treatment of the concrete.

1. は し が き

長期材令コンクリート建物の調査資料は既に4件を報告した。^{1,2,3,4)} ここには福井市庁舎旧本館の調査結果を報告する。福井市庁舎旧本館は昭和10年5月21日に竣工, 昭和50年12月から51年3月にかけて取壊わされた。取壊わし以前の調査項目にはシュミットハンマー試験, 超音波伝播速度測定および中性化深さ測定があり, 取壊わし時に採取したコンクリートコアに対しては圧縮試験, 付着試験およびその他の物性試験, ならびに化学分析による調合推定を行った。

2. 建 物 概 要

所在地: 福井市御屋形(城町下馬1~4番地)

構 造: 鉄筋コンクリート造3階建一部塔屋付
面 積: 建坪442坪(1459m²), 延坪1,342.6坪
(4431m²)

高 さ: 本館15.4m(51尺), 塔屋軒高26m(86尺), 避雷針30.3m(100尺)。

仕 上: 外壁 腰部みかげ石張, その他人造石
屋根 瓦棒造り銅板張

内装 床は寄木張り, 人造石研ぎ出し, 他に大理石, トラパーチンなどを用いている。

配置図と平面図を図1~5に, 外観一部を写真1, 2に示した(381頁参照)。

* 建設工学科

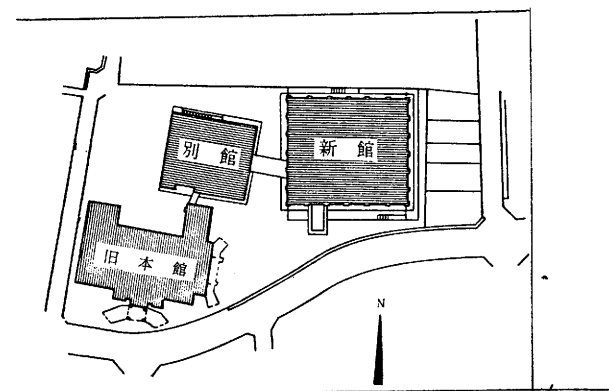


図1 配置図

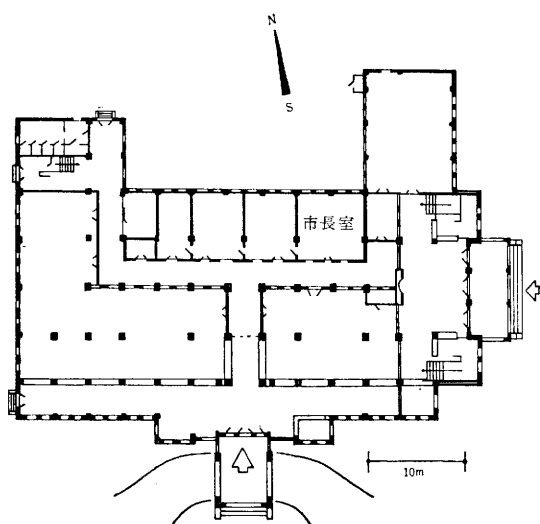


図2 1階平面図

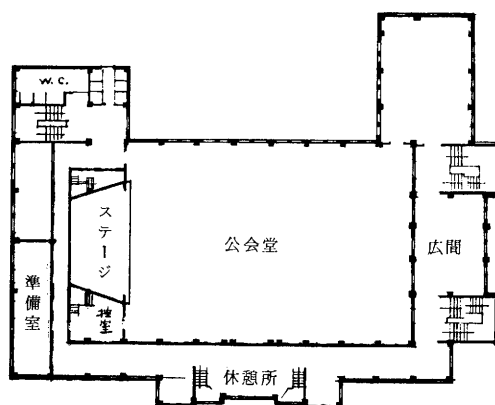


図4 3階平面図

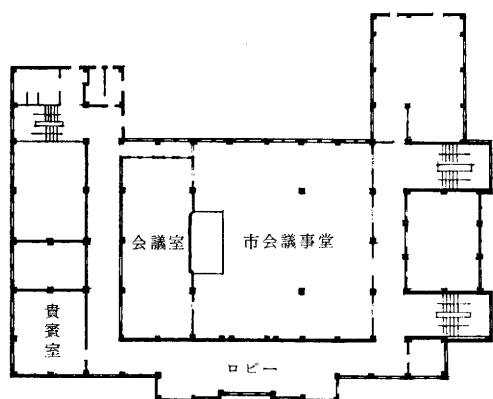


図3 2階平面図

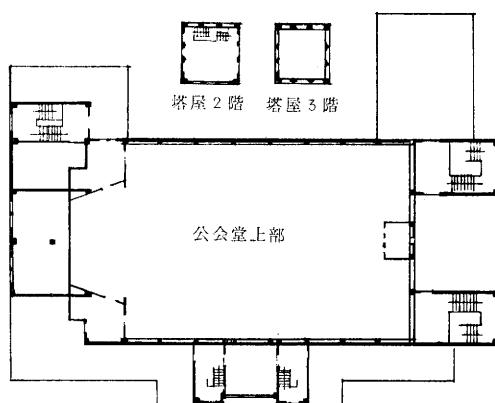


図5 屋上・塔屋平面図

3. 建物経歴

昭和20年7月19日、アメリカのB29爆撃機による福井空襲の際に2階は半焼、3階公会堂は全焼した。公会堂屋根トラスは全面的に火害を受け、部材に著しい曲がりの生じた部分が各所に見られる。その火害例を写真3に示す(381頁参照)。

昭和23年6月28日、福井地震で市庁舎周囲の地盤は約80cm沈下した。しかし震災報告では建物の構造主体には殆んど損傷はなかったとされた。事実今回の調査でも9箇所測定した結果、建物の傾斜は見られず、また構造部材にも1階床上では塔屋の一部を除き震害は認められなかった。1階床下の柱に見られる震害については後述する。

4. シュミットハンマー試験

各階の柱9～10本、計28箇所に対してシュミットハンマーによる反発硬度(1箇所20点以上、水平方向打撃)を測定した(380～382頁、図13～15参照)。

表1 シュミットハンマー試験結果

階	1	2	3
測定箇所数	9	10	9
反発硬度	範 囲	36.6～44.6	32.6～39.3
	平 均	39.9	38.3
	標準偏差	2.60	2.40

その結果を表1にまとめた。反発硬度は32.6～44.6である。反発硬度とコンクリート圧縮強度との関係に対しては、1次式、2次式他いくつか提案されている。1次式を(1)式に示す。

$$F_c = \alpha R - \beta \quad \dots\dots(1)$$

F_c : コンクリート円柱体圧縮強度

R : シュミットハンマー反発硬度

α, β : 常数

$\alpha=13, \beta=184$ とする(2)式が提案されている諸式のほぼ平均的値を示すのでよく用いられている。

$$F_c = 13R - 184 \quad \dots\dots(2)$$

反発硬度測定値より(2)式によってコンクリート圧縮強度を求めると、240～396kg/cm²となる。

一方、これらの反発硬度測定箇所から採取したコンクリートコアの圧縮強度(後述)は90～175kg/cm²であり、反発硬度よりの推定値との間には大巾な開きがある。

今各箇所のシュミットハンマー反発硬度とコア圧縮

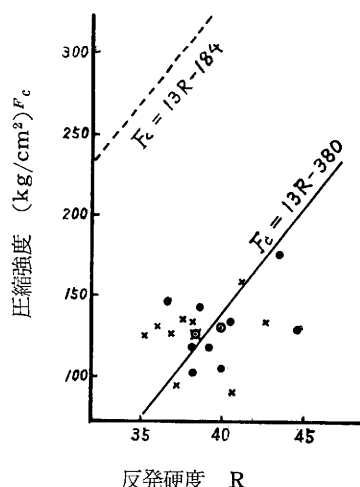


図6 シュミットハンマー反発硬度とコア圧縮強度
(○1階, ×2階, ●各階ごとの平均)

強度を図6にプロットした。両者の相関関係は明瞭ではないが、 $\alpha=13$ として β を求めると(3)式が得られる。

$$F_c = 13R - 380 \quad \dots\dots(3)$$

長期材令コンクリートではシュミットハンマー反発硬度からの推定圧縮強度が実際のコンクリート圧縮強度より大きく算定されることを前報^{1,2,4)}で報告したが、今回の調査結果もそれを確認するに至った。

5. 超音波伝播速度測定

シュミットハンマー試験を行なった柱に対して、Ultra Soni Scope を用いて超音波伝播時間を測定した。超音波伝播方向は水平すなわち柱の材軸に直角の方向である。伝播時間と柱寸法(コンクリート躯体部)から伝播速度を算定した結果を表2にまとめた(表2参照)。

表2 超音波伝播速度

階	1	2	3
測定数	8	7	7
超音波伝播速度(km/s)	範 囲	2.56～4.28	1.81～3.12
	平 均	3.00	2.64
	標準偏差	0.57	0.52

超音波伝播速度は1.81～4.28km/secの範囲にあって全体の平均は2.69km/secである。超音波伝播速度によるコンクリートの品質区分(表3)によれ

表3 超音波伝播速度によるコンクリート品質の区分⁶⁾

超音波伝播速度(km/s)	コンクリート品質
4.5 以上	excellent (優)
3.6~4.5	good (良)
3.0~3.6	doubtful (やや良)
2.1~3.0	poor (可)
2.1 以下	very poor (不 可)

ば、コンクリート品質は poor (可) の区分に入る。

各測定箇所の超音波伝播速度とコア圧縮強度とを図7に示した。図8は、コンクリートコア(10φ×20cm)そのものの軸方向の超音波伝播速度とコア圧縮強度とを示したものである。図7と図8を比較すると、同一圧縮強度に対する超音波伝播速度は、柱本体の方がコアよりも低い。柱断面の超音波伝播経路中でコア以外の部分の欠陥や弱点部が影響しているものと思われる。

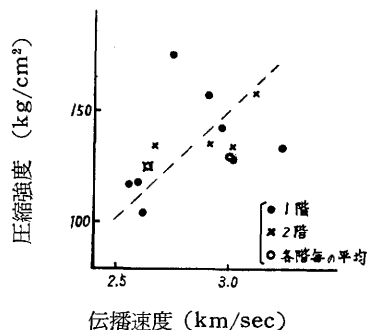


図7 超音波伝播速度とコンクリート圧縮強度

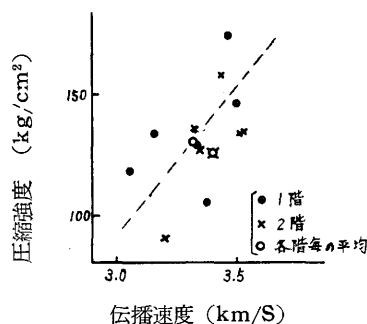


図8 コアの超音波伝播速度とコア圧縮強度

6. 中性化深さ

コンクリートを研り、フェノールフタレンの1%アルコール溶液を噴霧器で散布し、赤変反応を示す部分からコンクリート表面までの距離(中性化深さ)を測定した。また、柱主筋までのコンクリートのかぶり厚さを測定すると共に、主筋、帯筋の発錆状況を観察した。

室内部での測定結果を表4にまとめた。各階柱の中

表4 柱の室内側の中性化深さと主筋に対するコンクリートのかぶり厚さ

階	1	2	3
測定数	9	10	9
中性化 (cm)	範囲	2.8~8.3	2.5~10.3
	平均	4.7	5.4
	標準偏差	1.6	2.1
かぶり厚 (cm)	範囲	4.8~9.9	4.2~7.8
	平均	6.6	5.9
	標準偏差	1.7	1.3

性化深さ平均値は1階4.7cm、2階5.4cm、3階6.6cmと上階程大きい値を示しており、その原因としてはコンクリート調合比と火害が考えられる。中性化がかぶり厚以上すなわち柱主筋に達している柱は、1階2箇所、2階4箇所、3階7箇所に及んでいる。このうち主筋に錆が見られるものは2階7箇所、3階7箇所である。すなわち、すでに鉄筋コンクリートとしての耐用限度に達したと見られるものは1階20%、2階70%、3階80%である。また、取壊し時に1階床上打継部で主筋に錆が見られるものがあつた。

コンクリートの経過年数(t)と中性化深さ(xcm)の関係式として在来(4)式が提案されている。

$$t = 7.2x^2 \quad \dots\dots(4)$$

材令40年に対しては中性化深さは2.4cmと求められる。調査結果では、中性化深さは1階平均値がこの2倍、2階平均が2.3倍、3階平均が2.8倍の値を示している。

また、コンクリートの水セメント比が60%以上の場合に対して提案された岸谷⁶⁾の式を(5)式に示す。

$$t = \frac{0.3(1.15+3w)}{(w-0.25)^2} x^2 \quad \dots\dots(5)$$

ここにwは水セメント比

いま、(5)式に、 $t=40$ 年、 $x=4.7$ (1階の平均値)

cm を代入すると水セメント比 w は 1.11 となり、通常のコンクリート調合では考えられない値となる。やはり(3)式の推定値よりも中性化を促進させる要因、たとえば北陸地方の気象的条件も影響しているものと考えられる。

各測定箇所の仕上げは、3 階公会堂の 3 箇所が木製板張りの他はすべてモルタルの上にプラスター塗りであった。板張り部の中性化深さは他の部分の中性化深さとほぼ同等であった。

なお、外壁（人造石洗出し仕上げ）では中性化は殆ど見られず、また、土中にあった基礎梁（コンクリート打放し）でも中性化は 0～2mm と極めてわずかであった。

7. 比重および吸水率

圧縮試験体およびその他のコンクリート塊計 36 個について、JIS A 1110 に準じて表乾比重、絶乾比重および吸水率を求めた結果を表 5 に示す。平均値は表乾比重 2.34、絶乾比重 2.16、吸水率 8.21% である。

8. 強度および力学的性質

シュミットハンマー試験を行なった柱から、水平すなわち部材軸に対して直角方向に直径 10cm のコアを抜き取った。3 階と 1 階床下では取壊し工事進行上コア採取が不可能となったので、取壊し後のコンクリート塊をコンクリートカッターで角柱（一辺 9～12cm、高さ 17～19cm）に整形した。

供試体は、建物と同一条件、すなわち気乾状態で、圧縮試験を JIS A 1108 に準じて行なった。アムスラー

型 200ton 耐圧試験機を用い、各荷重段階毎に差動トランス付コンプレッソメーターで縦歪を測定した。

圧縮強度およびヤング係数 ($E_{1/3}$: 圧縮強度の $1/3$ の応力度における Secant Modulus) を表 6 に示した。10φ×20cm 供試体の応力度・歪度線を図 9、図 10 に示した。

圧縮強度平均は 1 階 130kg/cm²、2 階 126kg/cm²、

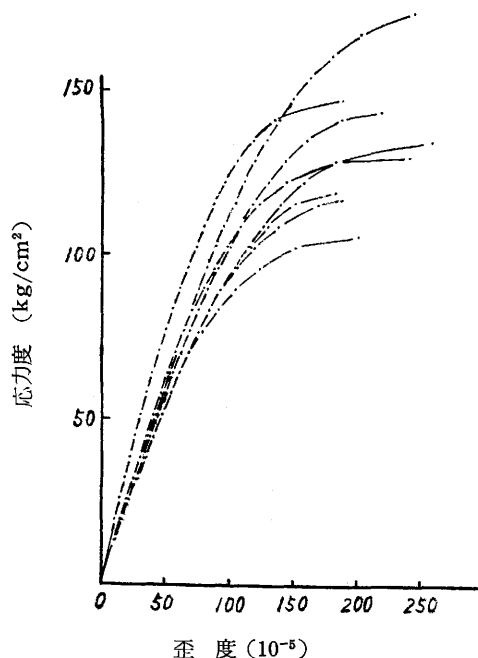


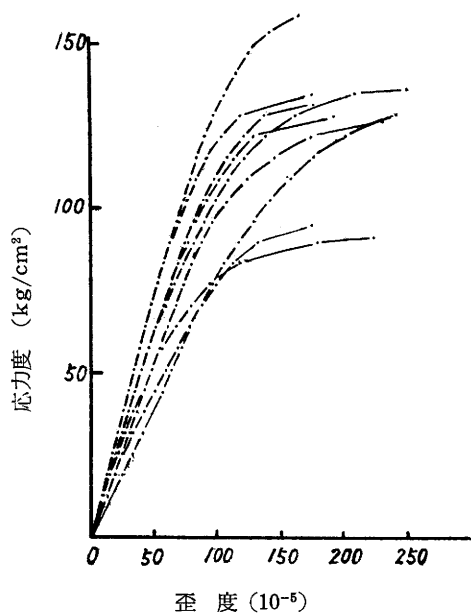
図9 コンクリートの応力度・歪度線
(1 階部分の供試体)

表5 コンクリートの比重および吸水率

階		1	2	3	全 体
試 料 数		9	9	18	36
表 乾 比 重	範 囲	2.31～2.37	2.29～2.37	2.29～2.39	2.29～2.39
	平 均	2.34	2.34	2.33	2.34
	標準偏差	0.023	0.031	0.026	0.026
絶 乾 比 重	範 囲	2.12～2.20	2.10～2.21	2.12～2.23	2.10～2.23
	平 均	2.16	2.17	2.16	2.16
	標準偏差	0.028	0.039	0.030	0.031
吸水率 (%)	範 囲	7.50～8.74	6.93～9.22	7.45～9.20	7.45～9.22
	平 均	8.24	8.03	8.28	8.21
	標準偏差	0.459	0.702	0.439	0.504

表6 圧縮強度およびヤング係数

コア採取	1 階		2 階		3 階		1 階 床 下	
	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (10 ⁵ ・kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (10 ⁵ ・kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (10 ⁵ ・kg/cm ²)	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (10 ⁵ ・kg/cm ²)
	147	1.61	135	1.27	135	1.26	255	—
	103	—	158	1.48	258	2.20	242	—
	118	1.05	134	1.31	203	2.46	257	—
	134	1.05	134	1.53	193	—		
	105	1.11	127	1.28	138	1.63		
	129	1.29	90	1.17	332	—		
	175	1.19	126	1.06				
	142	1.13	95	0.97				
	118	1.08	131	0.81				
平 均	130	1.06	126	1.21	210	1.89	251	
標準偏差	22.8	0.23	21.1	0.2	75	0.54		
変動係数	17.5%	22.0%	16.8%	19.3%	35.7%	28.7%		

図10 コンクリートの応力度・歪度線
(2階部分の供試体)

3階210kg/cm²、全体では148kg/cm²である。現行JASS5による設計基準強度としてはこれより標準偏差を差引いて105~107kg/cm²となる。3階部分の設計基準強度は135kg/cm²となって1, 2階よりやや大きい。コンクリートの品質そのものの差の他に、供試体の採取方法すなわち1, 2階ではコンクリート打込み方向に直角にコアを採取していることおよび3階

では採取部分が必ずしも柱に限定されていないことなども影響しているものと思われる。

設計基準強度にもとづけば、その品質は現在よく用いられているコンクリート(設計基準強度180kg/cm²とすれば)の60~75%程度である。

また、現行JASS5のコンクリート品質区分として挙げられている標準偏差を設計基準強度180kg/cm²のコンクリートの変動係数に換算して表6の変動係数と比較すれば、市庁舎のコンクリートの施工級別はB級の区分に入る。

ヤング係数平均値は1, 2階で1.06~1.21(10⁵kg/cm²)、3階で1.89(10⁵kg/cm²)である。JASS5のヤング係数算定式((6)式)に表乾比重

$$E = 2.1 \times 10^5 \left(\frac{w}{2.3} \right)^{1.5} \sqrt{\frac{F_c}{200}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

w : コンクリート気乾比重

F_c : コンクリート圧縮強度

測定値2.24を代入して求められるヤング係数は1, 2階では1.63~1.60(10⁵kg/cm²)、3階では2.06・10⁵(kg/cm²)である。1, 2階のコンクリートのヤング係数は(6)式による算定値の65~75%となっている。柱軸と直角に載荷した上記の試験ではコンクリート内部の粗骨材下面に生じやすい欠陥が、その変形を増加せしめたとも考えられる。

引拔法による付着試験(25mmφ鉄筋埋込長さは15cm)の結果、付着強度は31.5kg/cm²であった。

なお、鉄筋の引張試験結果を表7に示しておく。

表7 鉄筋引張試験結果

丸鋼呼径 (mm)	本数	実直径 (mm)	降伏点応力 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	破断伸び (%)	ヤング係数* (10 ⁶ kg/cm ²)
28	3	27.6	29.0	45.7	30.1	2.28
25	3	24.1	31.7	44.4	28.0	2.14
22	1	21.8	29.5	42.1	33.0	2.08
12	3	11.8	29.0	40.1	標点外	2.05

(* Wire strain gage の測定結果より算定)

9. コンクリートの調査推定

各階より採取した試料を砕いて、粗骨材とモルタルに分離した後、このモルタルを2時間以上強熱(700°C)し、1:3塩酸で処理する方法²⁾によってコンクリートの調査を算定した。結果を表7に示す。

絶乾重量調査比はセメント:砂:砂利=1:2.5~3.2:5.1~6.0である。

砂・砂利のフルイ分析結果を図11に示す。

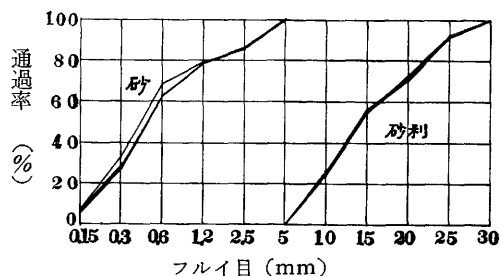


図11 砂・砂利のフルイ分析曲線

表8 コンクリートの分析試験結果

	1 階		2 階		3 階	
コンクリートの表乾比重	2.34		2.34		2.33	
コンクリートの絶乾比重	2.16		2.17		2.16	
コンクリートの吸水量(%)	8.24		8.03		8.28	
砂利の表乾比重	2.59	2.60	2.58	2.60	2.58	2.59
砂利の絶乾比重	2.54	2.55	2.52	2.55	2.53	2.54
砂利の吸水量(%)	1.74	2.07	2.21	2.09	1.87	2.15
モルタル絶乾重量(g)	69.24	76.76	45.79	92.02	55.48	83.02
700°C強熱後重量(g)	66.55	73.60	43.50	87.49	52.85	80.02
強熱減量(g)	2.69	3.16	2.29	4.53	2.63	3.00
塩酸処理不溶残分(g)	49.64	53.99	31.87	63.63	38.25	56.84
塩酸処理溶解分(g)	16.91	19.61	11.62	23.86	14.57	23.18
不溶残分補正值(g)	51.48	55.99	33.05	65.98	39.66	58.94
溶解分補正值(g)	14.35	17.61	10.44	21.51	13.16	21.08
セメント:砂:砂利重量比	1:3.01~3.19:5.67~5.95					
セメント:砂:砂利重量比*	1:2.62~2.78:5.12~5.37					

* 補正しない場合

10. コンクリートの損傷

外壁 屋上廻りの仕上げ材のひびわれ、西側窓周辺の火害に起因すると思われるひびわれ、および公会堂車寄せ部分のひびわれなど見られるが構造的な損傷は見当らない。

内部 (1階床土) 1階市長室前の柱、巾木部分にはらみ出しがあり、地震時に生じたという。塔屋は地震時に可成り振れたらしく、柱と腰壁の境界にひびわれが生じている(381頁写真4参照)。

これらの損傷はいずれも主体構造の欠陥となるもの

でなく、震災報告でも建物は被害を受けなかったとされた。

1 階床下

ところが実は1階床下で23本の柱に斜めひびわれを生じていたのである。内17本は震災後14年経た昭和37年暖房配管工事の際に発見し、急拠コンクリートで根巻きを施したという。今回の調査でさらに6本の柱に

斜めひびわれを発見した(図13参照)。中には崩壊寸前のものも見られる(写真5～8参照)。根巻きを施してあった柱は、取壊し時に可能な限り根巻き部をはがし、柱本体のひびわれを調べた。これらの柱のひびわれはいずれも、北側上方から南側下方に向かう斜めひびわれだけが生じており(図12参照)、普通の震害によく見られる十文字たすき形のひびわれではない。

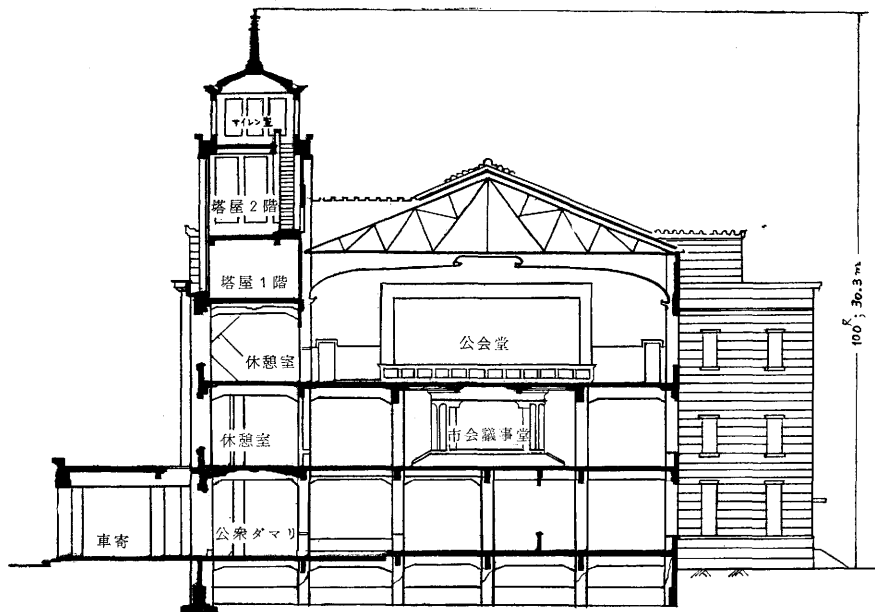


図12 断面図

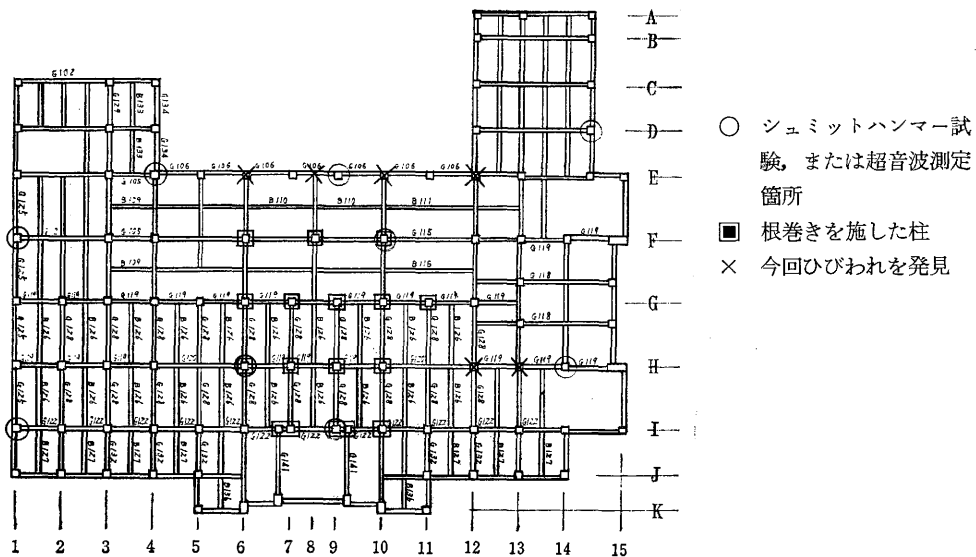


図13 1階柱および2階床梁図

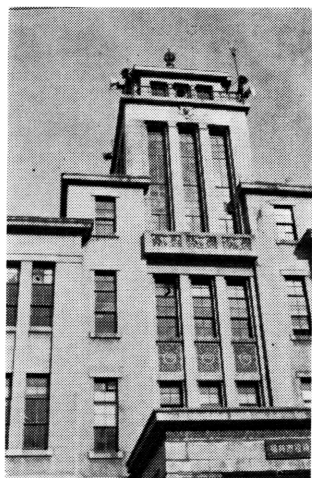


写真1 市庁舎正面



写真2 公会堂（東側）

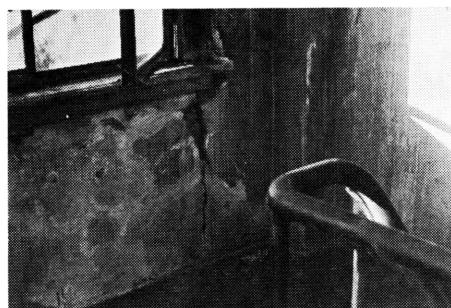
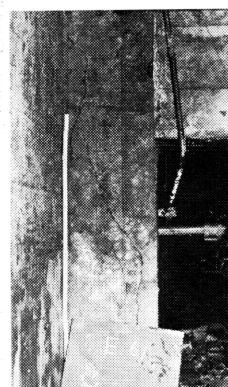
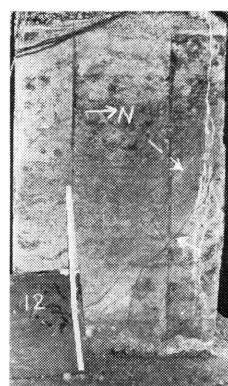
写真3 鉄骨トラスの火害
(圧縮斜材の座屈)

写真4 塔屋2階 北西部 腰壁のひびわれ

写真5 1階床下柱の
震害
(柱E.10の西面)写真6 1階床下柱の
震害
(柱E.6の西面)写真7 1階床下柱の
震害
(柱H.13の西面)写真8 1階床下柱の
震害によるひびわれ
(柱H.12の東面)

度とすれば現在よく用いられているコンクリート（設計基準強度 180kg/cm^2 ）の60～75%の強度である。

3) シュミットハンマー反発硬度から推定される圧縮強度に比べて、コンクリート・コアの圧縮強度は大巾に下廻り、前報^{1,2,4)}と同様の結果を得た。

4) コンクリートの化学分析の結果、コンクリートの重量調合比はセメント：砂：砂利＝1：2.5～3.2：5.1～6.0で、現行の調合に比べて粗骨材が多い。

参 考 文 献

- 1) 川上：福井大工報 16, 109 (1963)
- 2) 川上：福井大工報 16, 305 (1963)
- 3) 川上：福井大工報 17, 89 (1964)
- 4) 川上：福井大工報 18, 1 (1970)
- 5) E. A. Whitehurst "Soniscope tests concrete by an ultrasonic pulse technique" J. of A.C.I. No.47, Feb 1951 pp.433～444.
- 6) 岸谷：“鉄筋コンクリートの耐久性” 鹿島建設技術研究所出版部
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書（JASS 5 鉄筋コンクリート工事）